

## 屈曲Si細線導波路側壁のラフネスの相関長が損失及び偏波クロストークに及ぼす影響

著者	土屋 俊貴
出版者	法政大学大学院理工学研究科
雑誌名	法政大学大学院紀要．理工学・工学研究科編
巻	61
ページ	1-2
発行年	2020-03-24
URL	<a href="http://doi.org/10.15002/00022852">http://doi.org/10.15002/00022852</a>

# 屈曲 Si 細線導波路側壁のラフネスの相関長が 損失及び偏波クロストークに及ぼす影響

EFFECTS OF THE CORRELATION LENGTH OF SIDEWALL ROUGHNESS IN A BENT SI-WIRE  
WAVEGUIDE ON THE LOSS AND POLARIZATION CROSSTALK

土屋俊貴

Toshiki TSUCHIYA

指導教員 山内潤治

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

The fabrication process of a Si-wire waveguide yields sidewall roughness which scatters the propagating field. We evaluate the effect of the correlation length of sidewall roughness on the loss and polarization crosstalk. The scattering loss for the roughness on both sides becomes almost equal to the sum of that for the inside and outside roughness. It found that the polarization crosstalk is insensitive to the correlation length.

**Key Words** : Finite-difference time-domain method, Roughness, Correlation length, Polarization crosstalk

## 1. はじめに

屈曲光導波路は、光回路の高密度集積化に必要不可欠であり、これまでに多くの研究がなされている。強導波路では光の閉じ込めが強いため、小さな曲げ半径が利用できる。一方、導波路の作製過程でコア側壁にラフネスが生じ、散乱損の増加することが問題になっている。また、強導波路が屈曲すると偏波クロストークが生じることも知られている [1]。我々は、円筒座標系 FDTD 法を用いて、屈曲 Si 細線導波路を解析し、偏波クロストークが無視できないほど生じていることを明らかにしてきた [2], [3]。これまで、ラフネスの標準偏差と屈曲損の関係を議論してきた [4]。しかしながら、相関長の影響 [5] については、検討が不十分であった。本稿では、基板装荷型屈曲 Si 細線導波路側壁の片側及び両側にラフネスを考慮して、散乱損及び偏波クロストークを評価し、相関長との関係を明らかにする。

## 2. 本論

図 1 に解析する屈曲 Si 細線導波路の構造を示す。コア幅を  $w = 0.32 \mu\text{m}$ 、コアの高さを  $h = 0.32 \mu\text{m}$  とし、コアの中心における屈曲半径を  $R_c = 2.0 \mu\text{m}$  とする。コア、クラッド及び基板の屈折率をそれぞれ  $n_{\text{co}} = 3.476$ ,  $n_{\text{cl}} = 1.0$ ,  $n_{\text{sub}} = 1.444$  とする。側壁に与えるラフネスは、式 (1) で与える [6]。

$$z_p = \sum_{k=0}^{M-1} \sqrt{\tilde{S}_k} \exp\left(i2\pi \left[\phi_k + \frac{kp}{M}\right]\right) \quad (1)$$

$$p = 0, 1, 2, \dots, (M-1)$$

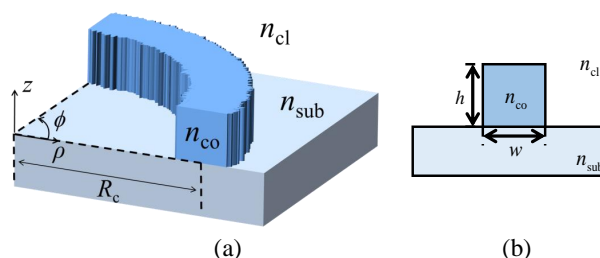


図 1 構造 (a) 鳥瞰図 (b) 正面図

ここで、 $M$  は  $x$  方向のサンプル点数、 $\tilde{S}_k$  はスペクトル密度、 $\phi_k$  はランダムに選ばれた位相である。標準偏差  $\sigma = 10\text{nm}$  で乱数の異なる 2 種類のラフネス (TypeA, B) を用い、本稿では、外側に TypeA, 内側に TypeB を考慮して検討する。ラフネスの相関長は、 $L_c = 0\text{nm}$  から  $300\text{nm}$  の範囲を取り上げる。 $L_c = \infty$  は側壁にラフネスのない理想構造に対応する。波長を  $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$  に選び、直線導波路の固有モード (TE, TM モード) を入射する。解析には円筒座標系 FDTD 法を用いる。

はじめに、相関長が損失に及ぼす影響を検討する。図 2 に TE モードの相関長に対する損失を示す。予想されるように、ラフネスを内外それぞれ片側のみに考慮した場合の損失合計と、両側に考慮した場合の損失がほぼ同等である。加えて、ラフネスの位置に関わらず、損失にピークが生じることがわかる。実際の導波路の作製では  $L_c = 50\text{nm}$  程度となるので、有意な散乱損が

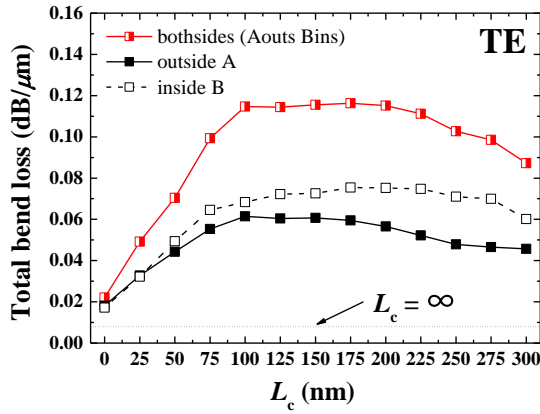


図 2 相関長  $L_c$  に対する損失 (TE-mode)

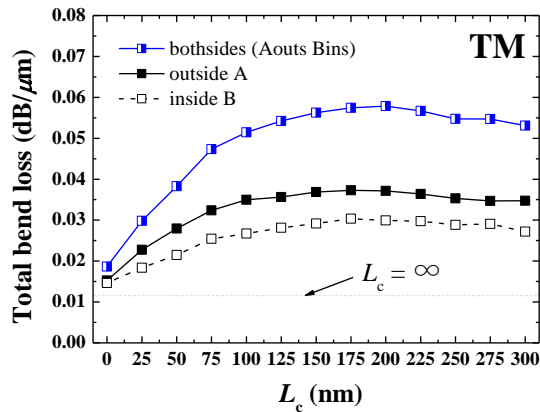


図 3 相関長  $L_c$  に対する損失 (TM-mode)

生じると理解される。図 3 に TM モードの相関長に対する損失を示す。図 2 と同様な傾向を示すが、TE モードと比較して、TM モードでは損失が小さく、半分程度に抑制できている。これは、TM モードでは、電界がコア側壁に対して接線成分となり、ラフネスの影響を受けにくいと解せる。

次に、90 度ベンドの終端における、偏波クロストークを相関長の関数で表示する。図 3, 4 はそれぞれ TE モード、TM モードにおける結果である。偏波に関わらず、相関長が大きくなるほど、内側のみでは減少、外側のみでは増加しており、両側では両者の間に位置していることがわかる。しかしながら、どちらの偏波の場合でも、相関長はクロストークを 2dB 程度しか変化させていないことから、クロストークは相関長に大きく依存しないことがわかる。

### 3. まとめ

屈曲 Si 細線導波路側壁のラフネスの相関長が損失及び偏波クロストークに及ぼす影響について検討した。偏波に関わらず、 $L_c = 100$  nm 付近で、損失にピークが生じることを示した。加えて、TM モードの場合、TE モードに比べて、損失がより小さく、半分ほどになるこ

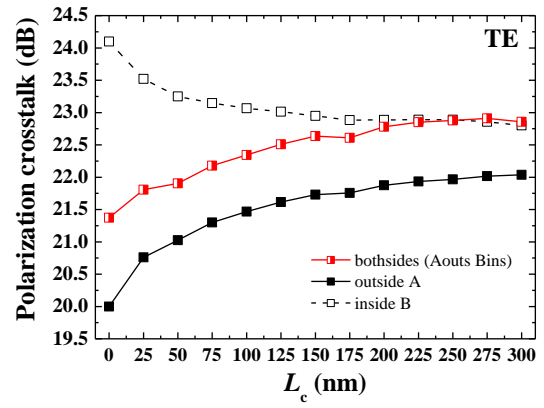


図 4 相関長  $L_c$  に対する 90° ベンドの偏波クロストーク (TE-mode)

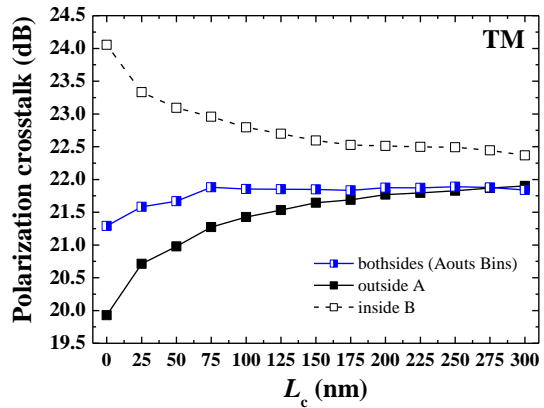


図 5 相関長  $L_c$  に対する 90° ベンドの偏波クロストーク (TM-mode)

とを確認した。クロストークは相関長を変化させても、約 2dB 程度しか変化せず、相関長に大きく依存しないことを見出した。

### 参考文献

- 1) A. Sakai, T. Fukazawa, and T. Baba., "Estimation of polarization crosstalk at a micro-bend in Si-Photonic wire waveguide," *J. Lightw. Technol.*, vol. 22, no. 2, pp. 520-525, Feb. 2004.
- 2) 山内潤治, 土屋俊貴, 佐々木陽太, 中野久松 "側壁にラフネスを持つ屈曲 Si 細線導波路で発生する偏波クロストーク," 信学総大, C-3-22, 2018.
- 3) T. Aso, T. Tsuchiya, Y. Sasaki, J. Yamauchi, and H. Nakano, "Polarization crosstalk generated in a bent Si-wire waveguide with sidewall roughness," *PIERS*, Toyama, p.1117, 2018.
- 4) 朝生龍也, 佐々木陽太, 山内潤治, 中野久松 "屈曲 Si 細線導波路の側壁におけるラフネスの影響," 信学ソ大, C-3-37, 2017.
- 5) C. G. Poulton, C. Koos, M. Fujii, A. Pfrang, T. Schimmel, J. Leuthold, and W. Freude, "Radiation modes and roughness loss in high index-contrast waveguides," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 12, no. 6, pp. 1306-1321, Nov./Dec. 2006.
- 6) J. J. Wu., "Simulation of rough surfaces with FFT," *Tribol. Int.*, vol. 33, no. 1, pp. 47-58, Jan. 2000.